LUCRAREA 5

FILETE - ELEMENTE GEOMETRICE. FORȚE ŞI MOMENTE

1. Scopul lucrării

Determinarea coeficienților de frecare din filet şi dintre suprafața frontală a piuliței şi suprafața de reazem.

2. Elemente teoretice

2.1. Elemente geometrice ale filetului

Geometria filetului metric de uz general (figura 1) şi dimensiunile nominale sunt stabilite în standardul SR ISO 262:2012, [1].
Figura 2 exemplifică o formă constructivă de şurub de fixare cu cap hexagonal şi a unei piulițe.

2.2. Forțe şi momente

Pentru a crea în tija şurubului o forță axială F este necesar ca asupra piuliței să se acționeze, la cheie, cu un moment de torsiune M_t:

$$M_t = M_{t1} + M_{t2} \qquad (1)$$

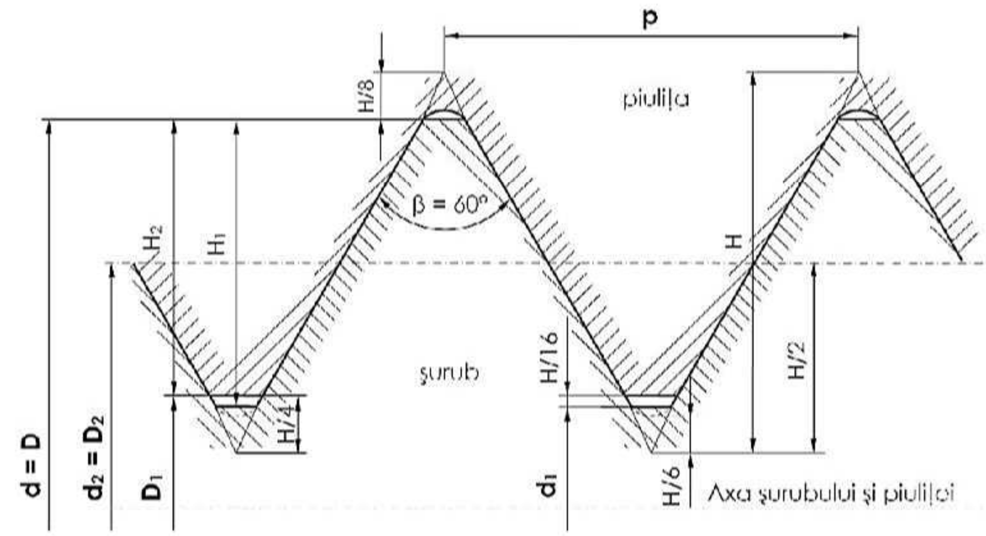


Fig. 1 *Geometria filetului metric*

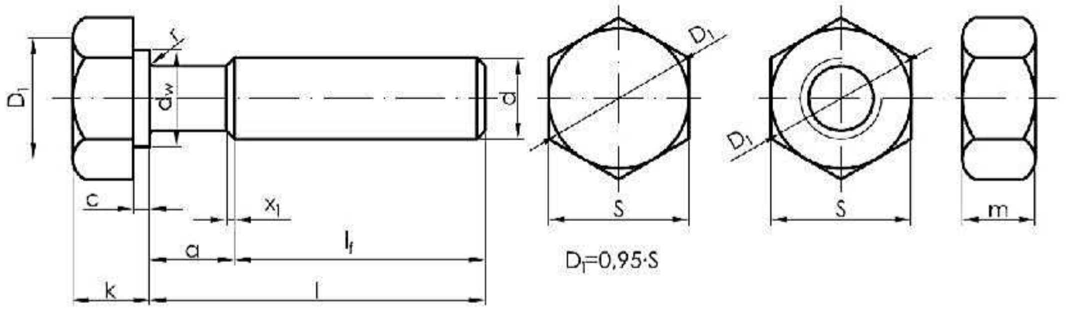


Fig. 2 *Şurub cu cap hexagonal, piuliță-forme constructive*

unde M_{t1} este necesar pentru învingerea frecării dintre spirele filetului:

$$M_{t1} = F \cdot \frac{d_2}{2} \cdot tg(\alpha_2 + \rho') \quad (2)$$

$$\alpha_2 = arctg\left(\frac{p}{\pi \cdot d_2}\right), \ [°] \quad (3)$$

iar momentul M_{t2} este componenta corespunzătoare frecării dintre suprafața frontală a piuliței şi suprafața de reazem:

$$M_{t2} = \mu_2 \cdot \frac{F}{3} \cdot \frac{D_1^3 - d_g^3}{D_1^2 - d_g^2} \quad (4)$$

unde: μ_1 - coeficientul de frecare dintre flancurile filetului;

μ'_1 - coeficientul de frecare aparent, $\mu'_1 = \mu_1 / \cos(\beta/2)$ (5)

ρ' - unghiul de frecare aparent, $tg(\rho') = \mu'_1$ (6)

μ_2 - coeficientul de frecare dintre suprafața frontală a piuliței şi suprafața de reazem.

Momentul M_{t1} solicită la torsiune tija şurubului.

3. Determinări experimentale

3.1. Dispozitivul de măsurare

Dispozitivul folosit permite măsurarea forței dezvoltată în tija şurubului la aplicarea unei valori cunoscute pentru momentul la cheie.

Dispozitivul, schematizat în figura 3, se compune din: suportul 4 pe care se montează subansamblul format din şurubul *5*, piulița *6*, distanțierele *3*, arcul dinamometric *2* şi comparatorul cu cadran *1*.

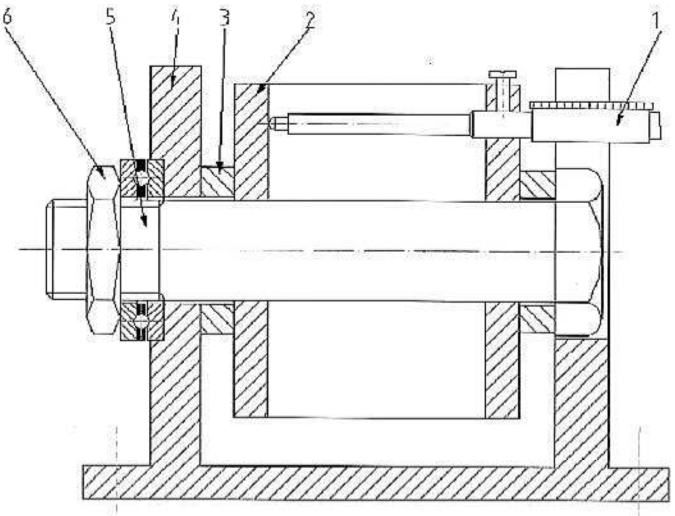


Fig. 3 *Dispozitiv pentru determinarea coeficienților de frecare*

Figura 4 prezintă imagini de ansamblu.

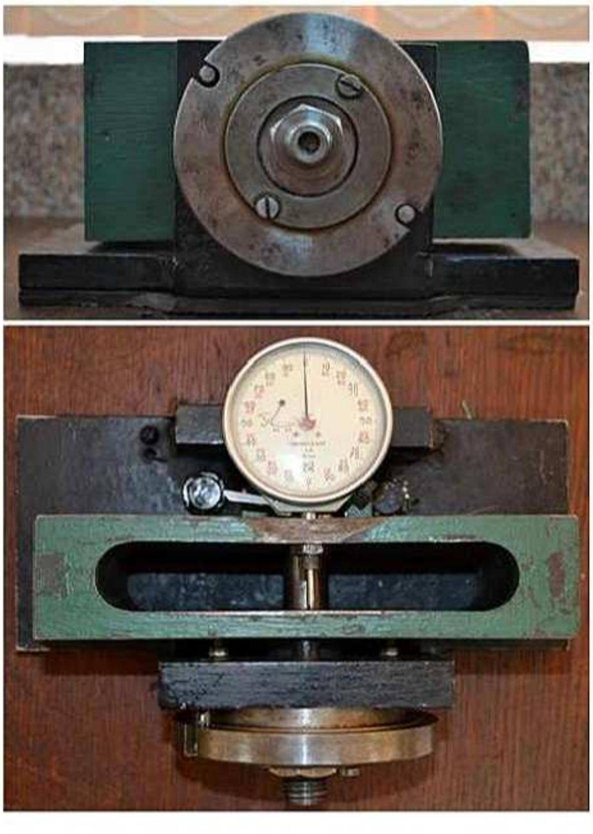


Fig. 4 *Dispozitivul pentru studiul frecării în filet*

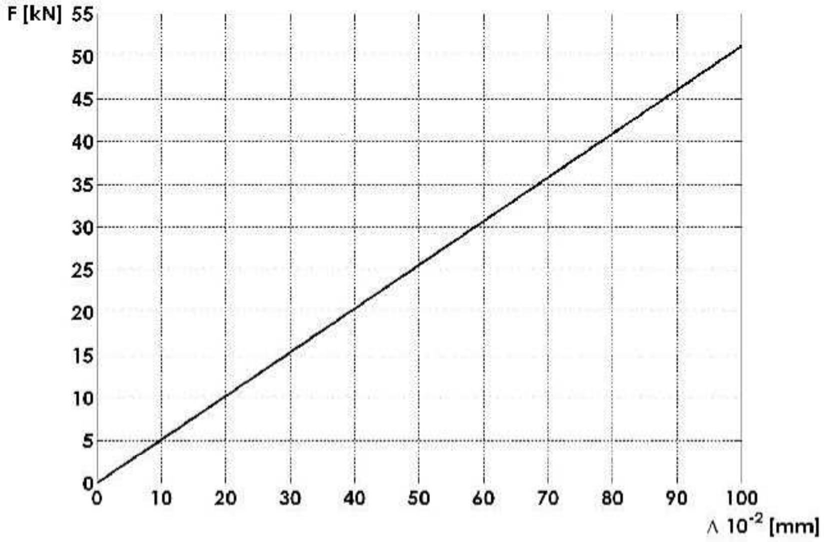


Fig. 5 *Caracteristica elastică liniară a arcului dinamometric*

Prin strângerea piuliţei cu cheia dinamometrică, în şurub ia naştere o forţă axială care deformează arcul dinamometric, mărimea deformaţiei fiind citită pe scala comparatorului, iar forţa axială se determină din caracteristica elastică a arcului prezentată în diagrama din figura 5.

3.2. Determinarea coeficientului de frecare μ_1 din filet

3.2.1 Principiul metodei

Aceste determinări se efectuează cu frecare de rostogolire între piuliţă şi suprafaţa de reazem. În acest scop în locaşul din suportul 4 se introduce un rulment axial, după care se montează manual piuliţa 6 până ce atinge inelul rulmentului.

- Strângerea piuliţei se realizează cu o cheie dinamometrică care va furniza valoarea momentului total M_t.
- Forţa axială dezvoltată în tija şurubului este evaluată folosind caracteristica elastică liniară a arcului dinamometric 2, figura 5.
- Momentul de frecare M_{t2} , din rulmentul axial, se determină în funcţie de valoarea forţei axiale:

$$M_{t2} = F \cdot \frac{d_a}{2} \cdot \mu_r \qquad (7)$$

în care diametrul interior al rulmentului axial d_a se măsoară, iar coeficientului de frecare în rulment μ_r se obţine din diagrama prezentată în figura 6 în funcţie de raportul F/C_0, unde sarcina statică de bază pentru rulmentul 51305 are valoarea $C_0 = 51$ kN.

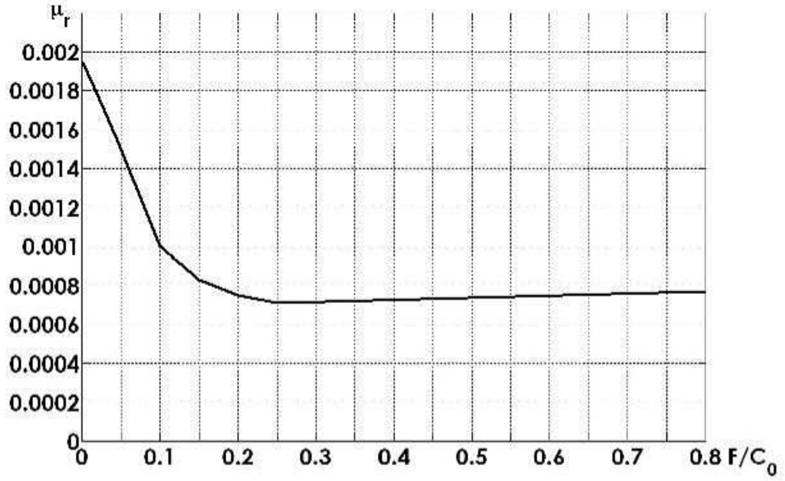


Fig. 6 *Coeficientul de frecare global din rulment*

- Momentului de frecare din filet M_{f1} se determină ca fiind diferența dintre momentul la cheie şi momentul de frecare din rulment:

$$M_{f1} = M_t - M_{f2} \tag{8}$$

3.2.2. Modul de lucru

1) Se măsoară cu şublerul diametrul exterior al şurubului şi se extrag din standard (tabelul 3) valorile pentru pasul p, diametrele d_1, d_2 şi D_1, după care se calculează valoarea unghiului α_2 cu relația (3). Pentru mărimea diametrului D_{1p} corespunzător suprafaței de reazem a piuliței se consideră aproximația $D_{1p} = 0{,}95 \cdot S$.
2) Se măsoară diametrul găurii de trecere d_g a şurubului.
3) Se aduce comparatorul cu cadran în poziția „zero".
4) Se strânge treptat piulița 6 cu cheia dinamometrică notând valorile diviziunilor indicate de cheie şi de comparator (citirile se fac din 10 N·m în 10 N·m până la maxim 100 N·m).
5) Momentul de frecare din filet fiind apreciat în baza relației (8), unghiul de frecare aparent ρ' se obține din relația (2):

$$\rho' = \operatorname{arctg}\left(\frac{2 \cdot M_{f1}}{F \cdot d_2}\right) - \alpha_2 \tag{9}$$

6) Se demontează piulița cu cheia dinamometrică verificând revenirea la poziția inițială a acului indicator al comparatorului.
7) Se repetă măsurătorile de cel puțin patru ori.

Tabelul 1 *Rezultate experimentale*

Nr. crt.	Mărimea	U.M.	1	2	3	4
1.	Momentul la cheie M_t	N·m				
2.	Indicații comparator	10^{-2} mm				
3.	Forța axială F	N				
4.	F/C_0	-				
5.	Coeficientul de frecare în rulment μ_r, (figura 6)	-				
6.	Momentul de frecare în rulment M_{t2}, (relația (7))	N·m				
7.	Momentul de frecare în filet M_{t1}, (relația (8))	N·m				
8.	Unghiul aparent de frecare ρ', (relația (9))	°				
9.	Coeficientul aparent de frecare în filet $\mu'_1=tg(\rho')$	-				
10.	Coeficientul de frecare $\mu_1=\mu'_1\cdot\cos(\beta/2)$	-				
11.	Coeficientul de frecare mediu în filet $\overline{\mu}_1$	-				

3.3. Determinarea coeficientului de frecare μ_2 dintre piuliță şi soclu

3.3.1. Principiul metodei

- Momentul total M_t va fi obținut prin utilizarea la strângere a unei chei dinamometrice.
- Forța axială dezvoltată în tija şurubului este evaluată folosind caracteristica elastică liniară a arcului dinamometric 2, figura 5.
- Momentul de frecare din filet M_{t1} se determină cu relația (2), în care unghiul de frecare aparent ρ' se calculează cu $\mu_1=\overline{\mu}_1$ determinat în cazul de la punctul 3.2.
- Momentului de frecare M_{t2} se determină ca diferența dintre momentul la cheie şi momentul de frecare din filet:

$$M_{t2}=M_t-M_{t1} \tag{10}$$

- Coeficientul de frecare μ_2 pe suprafața frontală a piuliței:

$$\mu_2 = \frac{3 \cdot M_{f2}}{F} \cdot \frac{D_{1p}^2 - d_g^2}{D_{1p}^3 - d_g^3} \quad (11)$$

3.3.2. Modul de lucru

1) Se demontează piulița, se scoate rulmentul axial, se montează o placă de reazem şi se montează din nou piulița manual până la contact.
2) Se repetă operațiile de strângere a piuliței ca în cazul măsurătorilor cu frecare de rostogolire între piuliță şi suprafața de reazem.
3) La terminarea măsurătorilor se demontează cu cheia dinamometrică piulița 6 şi se verifică revenirea în poziția inițială a acului indicator al comparatorului cu cadran.
4) Se repetă măsurătorile de cel puțin patru ori.
5) Se determină valoarea medie a coeficientului de frecare dintre piuliță şi suprafața de reazem $\overline{\mu}_2$.

Tabelul 2 *Rezultate experimentale*

Nr.	**Mărimea**	**U.M.**	**1**	**2**	**3**	**4**
1.	Momentul la cheie M_t	N·m				
2.	Indicații comparator	10^{-2} mm				
3.	Forța axială F	N				
4.	Momentul de frecare în filet M_{t1}, (relația (2))	N·m				
5.	Momentul de frecare pe soclu M_{t2}, (relația (10))	N·m				
6.	Coeficientul de frecare pe soclu μ_2, (relația (11))	-				
7.	Coeficientul de frecare mediu $\overline{\mu}_2$	-				

4. Aplicație

Două table suprapuse asamblate prin *n* şuruburi montate cu joc, figura 7, sunt solicitate static de forța transversală *T*.
a) Să se aprecieze valoarea forței de strângere necesară a fi creată de fiecare şurub astfel încât tablele să nu alunece;
b) Să se aprecieze valoarea momentului de strângere la cheie necesară pentru realizarea forței de strângere determinată la punctul a);
c) Să se verifie la rezistență şurubul.

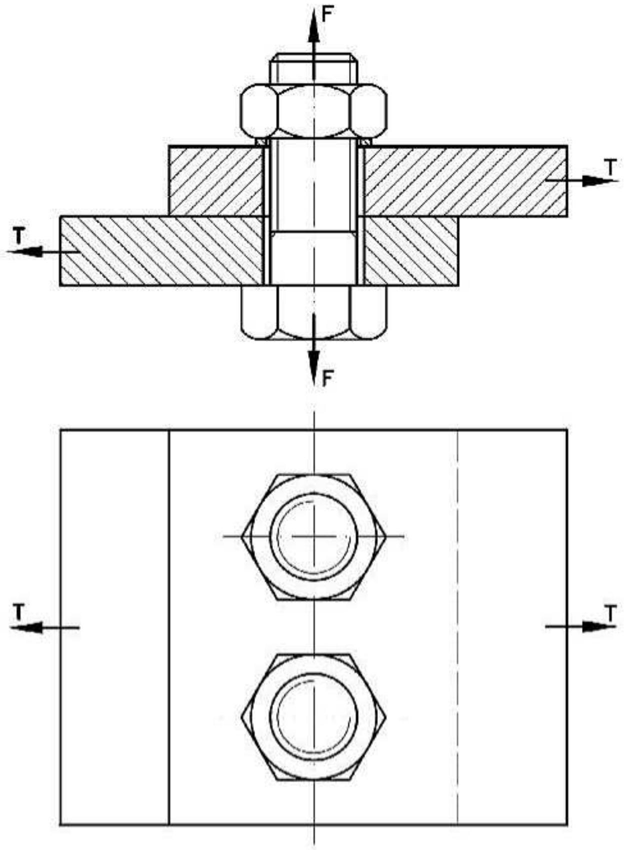


Fig. 7 *Asamblare cu şuruburi montate cu joc*

a) Din condiţia de transmitere a forţei transversale prin frecare rezultă forţa axială necesară a fi creată în tija fiecărui şurub:

$$F_{ftable} \geq T \quad \Rightarrow \quad n \cdot F \cdot \mu_{table} = T \cdot k \quad \Rightarrow \quad F = \frac{k \cdot T}{n \cdot \mu_{table}} \qquad (12)$$

unde: μ_{table} = 0,1...0,2; k = 1,2...1,5; (k - coeficient de siguranţă la alunecare între table).

b) Pentru determinarea valorii momentului la cheie necesară pentru realizarea forţei de strângere se utilizează relaţiile (1), (2) ... (6). Pentru coeficienţii de frecare μ_1 şi μ_2 se vor utiliza valorile medii obţinute experimental, (tabelul 1 şi tabelul 2).

c) Tija şurubului este solicitată static compus:

- la tracţiune de forţa axială F rezultând tensiunea:

$$\sigma_t = \frac{F}{A_{min}} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_1^2}, \text{ [MPa]} \quad (13)$$

- la răsucire de momentul M_{t1}, rezultând tensiunea:

$$\tau_t = \frac{M_{t1}}{W_{p\,min}} = \frac{16 \cdot M_{t1}}{\pi \cdot d_1^3}, \text{ [MPa]} \quad (14)$$

Fiind solicitare compusă a unui material tenace (oțel) se consideră tensiunea echivalentă derivată din ipoteza lucrului mecanic modificator de formă:

$$\sigma_{ech} = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2}, \text{ [MPa]} \quad (15)$$

Coeficientul de siguranță se apreciază ca un raport între tensiunea limită la tracțiune şi tensiunea echivalentă care, conform definiției, este de tracțiune.

$$c = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{ech}}, \; c \in (1{,}8 \ldots 2{,}2) \quad (16)$$

Discuție:

Dacă nu se verifică condiția de rezistență, se poate considera:

- creşterea limitei de curgere $R_{p0,2}$ prin:
  - schimbarea mărcii de oțel;
- reducerea tensiunii echivalente prin:
  - mărirea dimensiunii şuruburilor, sau
  - micşorarea forței axiale prin creşterea numărului de şuruburi *n*.

Bibliografie

1. SR ISO 262:2012 - *Filete metrice ISO pentru uz general. Diametre şi paşi.*
2. Gafițanu, M., Crețu, S., Pavelescu, D., ş.a., 1981, *Organe de maşini*, vol. I, Editura Tehnică, Bucureşti.
3. Shigley, E.J., Mischke, R.C., Budynas, G.R., Molari, G.P., 2005, *Progetto e construzione di machine*, McGraw-Hill, Milano, New York.

Tabelul 3 *Şuruburi şi piuliţe cu filet metric*

Filet metric normal SR ISO 262:2012				**Şurub cu cap hexagonal** STAS 4272			
d	p	$d_1 = D_1$	$d_2 = D_2$	S	k	m	d_g
6	1	4,917	5,350	10	5	6	7
8	1,25	6,647	7,188	13	6	8	9
10	1,5	8,376	9,026	17	7	10	11
12	1,75	10,106	10,863	19	8	12	13
(14)	2	11,835	12,701	22	9	11	15
16	2	13,865	14,701	24	10	16	17
(18)	2,5	15,294	16,376	27	12	15	19
20	2,5	17,294	18,376	30	13	20	21
(22)	2,5	19,294	20,376	32	14	18	23
24	3	20,752	22,051	36	15	24	25
(27)	3	23,752	25,051	41	17	27	28
30	3,5	26,211	27,727	46	19	30	31
(33)	3,5	29,211	30,727	50	20	33	34

Tabelul 4 *Materiale pentru asamblări filetate*

Simbol grupă material		**Material:** - ISO SR EN 10025 - ISO SR EN 10083 - ISO SR EN 10084
Şurub	Piuliţa	
4.6	4	S235, S275
4.8	4	1C10
5.6	5	1C15, 1C25, 1C35
5.8	5	1C35+N
6.6	6	S355, 1C45
6.8	6	1C45
6.9	6	1C55
8.8	8	17CrNiMo6, 21MnCrMo12
10.9	10	33CrMo4, 34CrNiMn6
12.9	12	34MnCrNi15
14.9	14	28CrTiMn12